



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática “Fitorremediación de suelos
contaminados con metales pesados aplicando Sedum alfredii
y Helianthus annuus”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

Arones Villcas, Andrea Milagros (ORCID: 000-0001-6501-7821)

Deudor Cotrina, Yackeline Medelina (ORCID: 0000-0002-4018-5842)

ASESOR:

Dr.Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA-PERÚ
2020

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis a nuestros seres queridos, por habernos apoyado en cada paso de su realización, y de manera especial a quienes nos forjaron como las personas que somos en la actualidad, mucho de nuestros logros se los debemos a ustedes.

A mis padres José Arones y Simiona Villcas, quienes fueron una motivación en mi vida.

A mis padres Saturnino Deudor y Medelina Cotrina, y a mis hermanos que fueron una motivación en mi vida.

Agradecimiento

Agradecemos a nuestros padres, por sus consejos y palabras de aliento, por apoyarnos de manera económica.

Además, a nuestro asesor por el tiempo, paciencia en la elaboración de esta investigación.

Índice de contenido

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEÓRICO	4
III.	METODOLOGÍA	15
	3.1. Tipo y diseño de investigación	15
	3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.	16
	3.3. Escenario de estudio	17
	3.4. Participantes	17
	3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
	3.6. Procedimiento	19
	3.7. Rigor científico.	21
	3.8. Método de análisis de datos	22
	3.9. Aspectos éticos	23
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
V.	CONCLUSIONES	35
VI.	RECOMENDACIONES	37
	REFERENCIAS	
	ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1 Antecedentes.	10
Tabla 2 Matriz de categorización apriorística.	16
Tabla 3 Identificar los metales pesados más bioacumulados por <i>Sedum alfredii</i> y <i>Helianthus annuus</i>	24
Tabla 4 Efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a <i>Sedum alfredii</i> y <i>Helianthus annuus</i> .	27
Tabla 5 Alternativas que logran mejorar la fitorremediación de <i>Sedum alfredii</i> y <i>Helianthus annuus</i> para suelos contaminados por metales pesados	30

Índice de gráficos y figuras

Gráfico 1 Procedimiento de recolección de datos.	20
Figura 1 Efectos potenciales de metales hacia las plantas	5
Figura 2 Crecimiento de <i>Sedum alfredii</i> tratadas con Cu durante 30 días.	7
Figura 3 Etapas de plántulas (a) y floración (b y c) del girasol.	8

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo analizar la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados aplicando *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*. Esta revisión se basó en la recopilación de información de fuentes de Scopus, Science direct y scielo, posteriormente se analizó la información de 27 artículos de investigación. Los resultados presentan que el cadmio tuvo un intervalo de 76,6% a 42%, el plomo tuvo un intervalo de 52% a un 65 %, finalmente el zinc de 52% a 35% presentando un intervalo menor de acuerdo al rango de bioacumulación por el cadmio. Por otro lado, en cuanto a los efectos que ocasiona la excesiva acumulación de metales, los efectos que se presentan son disminución de crecimiento y biomasa, reducción de clorofila y por ende clorosis, también la pudrición en el tallo. Por último, existen alternativas como la duplicación cromosómica, uso de quelantes y enmiendas orgánicas, entre otras para mejorar la fitorremediación de las especies de nuestro estudio. Se concluye que la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados aplicando *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* presenta buenos resultados para resolver problemáticas ambientales y ser aplicados en diversas zonas de nuestro territorio.

Palabras claves: Fitorremediación, metales, *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*.

Abstract

The present research aims to analyze the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals by applying *Sedum alfredii* and *Helianthus annuus*. This review was based on the compilation of information from sources in Scopus, Science direct and scielo, subsequently the information from 27 research articles was analyzed. The results show that cadmium had an interval from 76.6% to 42%, lead had an interval from 52% to 65%, finally zinc from 52% to 35% presenting a smaller interval according to the bioaccumulation range by cadmium. On the other hand, regarding the effects caused by the excessive accumulation of metals, the effects that occur are a decrease in growth and biomass, a reduction in chlorophyll and therefore chlorosis, as well as rotting in the stem. Lastly, there are alternatives such as chromosome duplication, use of chelators and organic amendments, among others, to improve the phytoremediation of the species in our study. It is concluded that the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals by applying *Sedum alfredii* and *Helianthus annuus* presents good results to solve environmental problems and be applied in various areas of our territory.

Keywords: Phytoremediation, metals, *Sedum alfredii* and *Helianthus annuus*.

I. INTRODUCCIÓN

Existen un sin fin de fuentes de contaminación, iniciando desde el propio hogar, hasta llegar a las grandes industrias, desde fuentes naturales hasta antropogénicas, estas claramente perjudican de algún modo al medio ambiente. En múltiples regiones y países del mundo existen casos de contaminación de suelos por metales pesados. En la Ensenada, México se generaron emisiones de partículas con metales proveniente de barcos y automóviles, estos después de pasar por la atmósfera se depositaron en el suelo, en el análisis de Cortés se determinó que el asfalto contenía mayor concentración de Cr, Pb, Ni y Zn; además que el suelo poseía concentraciones más altas de Rb (2017, p.52). Por otro lado en Venezuela, Marcano y Delvasto determinaron la concentración de metales en el suelo provenientes de pilas abiertas gastadas, en donde se encontró que Zn, Cd, Ni, Mn, Co y Fe excedieron en los límites permitidos (2016, p.86).

La contaminación por metales cubre millones de hectáreas de suelo en el mundo, tan solo en china son 100 millones de hectáreas (Wang et.al, p. 1, 2020), todo ello es solo un breve resumen de la magnitud de esta situación medioambiental. Entre los diversos contaminantes de metales se ubica el mercurio que cambia de forma químicamente en el medio y se deposita en lo profundo del suelo en forma de sedimentos (Kumari, et al, 2020, p.2). Así mismo, estos elementos nocivos pueden permanecer en la atmósfera durante un tiempo prolongado entre 1-2 años. (Varjani,et.al, 2018). Esto afecta a la estructura del suelo lo cual amenaza la salud humana y la seguridad alimentaria.

Metales pesados como Cd, Cu, Cr, Pb y Hg ocasionan anualmente una contaminación de 12 millones de toneladas en los cultivos de arroz en China, estos metales se acumulan en las raíces y poco a poco pasan a los granos de arroz, una consecuencia a largo plazo del consumo de estos alimentos contaminados ocasionaría mutaciones en los genes, así como enfermedades cardiovasculares, entre otras; Los adultos mayores y los niños son mucho más sensibles a este peligro (Liu et.al, 2020, p.2). La salud de las personas sufre cuando tienen niveles excesivos de metales tóxicos en su organismo, en China al realizarse una prueba de sangre de niños, se encontró que más del 30% tenían

Plomo en su sangre (Okereafor et al, 2020, p.5)

En el Perú se realizan diversos proyectos mineros que si bien ayudan a la economía de este país, también traen consigo destrucción paisajística, daños a la salud de las personas, contaminación en agua, suelo, aire, etc. Es de conocimiento para muchas personas que estos lugares afectados requerirán de un adecuado tratamiento, uno que no requiera costos elevados, y que de alguna manera sea de fácil aplicación, pero sobre todo llegar a ser eco-amigable.

Para ello, está la fitorremediación, que es una de las tecnologías que desarrollaron científicos, en esta técnica se emplea el uso de plantas y microorganismos asociados a ella para remediar ecosistemas contaminados con metales y otros elementos nocivos. Si bien es cierto, esta tecnología tiene como desventaja el tiempo y la observación de los resultados; sin embargo, esta no presenta una alteración en el medio local, lo cual permite aplicarlo como tratamiento in-situ.

Por otro lado, existen muchas especies vegetales que han desarrollado una resistencia a ciertos contaminantes, convirtiéndose en candidatas potenciales para fitorremediar. Las plantas más eficientes en los procesos de fitorremediación son las plantas hiperacumuladoras; sin embargo, estas plantas muestran una baja producción de biomasa. (Fiorentino et.al, 2016, p. 2)

En este presente estudio como plantas bioacumuladoras se tiene lo siguiente: *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*, respecto a la realidad problemática se formula el siguiente problema general ¿Cuál es el análisis de la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados aplicando *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*? Como problemas específicos tenemos:

- ¿Cuáles son los metales pesados más bioacumulados por *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*?
- ¿Cuáles son los efectos que la acumulación de metales pesados ocasionan a *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*?

- ¿Cuáles son las alternativas que logran mejorar la fitorremediación de *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* para suelos contaminados por metales pesados?

En cuanto a la justificación de esta revisión se determinó que es imprescindible analizar las diferentes características de las dos especies fitorremediadoras de la investigación, para determinar las capacidades que tienen para remediar suelos contaminados con metales pesados, esta revisión servirá como soporte para futuras investigaciones, debido a que una revisión sistemática viene a ser una recopilación, para este caso de información actualizada sobre el uso y de la aplicación que se le da para resolver la problemática de la concentración y contaminación de diversos metales en el suelo, afectando a la salud de las personas y además la calidad alimentaria, ya que muchos de estos suelos son utilizados para la producción agrícola (Wang et al, 2020, p.1). Este tema se investigó debido a que en diferentes fuentes de información afirman que la *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* son especies con gran potencial para fitorremediar (Ojuederie & Babalola, 2017, p.6). Además, la revisión sistemática ayuda a tomar decisiones reales con ventajas y desventajas adecuadas de las diferentes metodologías en el área de las actividades in situ y en especial, en este caso sobre la aplicación de la tecnología de fitorremediación con plantas hiperacumuladoras, y en qué condiciones es aplicable y cómo conocer sobre otros estudios relacionados al tema.

En esta revisión sistemática se analizará la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados aplicando *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*. Para este fin se considera los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los metales pesados más bioacumulados por *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*.
- Identificar los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*.
- Determinar las alternativas que logran mejorar la fitorremediación de *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* para suelos contaminados por metales pesados.

II. MARCO TEÓRICO

Con respecto a los metales pesados son elementos químicos con alta densidad, generalmente son tóxicos y están distribuidos en el ambiente (Zwolak et al, 2019, p.2), estos elementos son, el Bario (Ba), Cobalto (Co), Aluminio (Al), Mercurio (Hg), etc., A menudo se mantiene en suelos, entre los metales ampliamente conocidos está el Cu y Pb, presentan mayor tendencia a ser absorbidos en el suelo (Okereafor et al, 2020, p.6). La fuente de estos metales son pinturas, fungicidas, baterías, aditivos para gasolina, desechos electrónicos, etc. (Shah & Daverey, 2020, p.3). Los metales pueden ser disueltos por agentes físicos y químicos, pero no pueden ser degradados. Y en los humanos la alta concentración de metales puede provocar lesiones en la piel, lesiones en el sistema nervioso, anemia, vómitos, taquicardia, alucinaciones, etc. (Franco, Muñoz y García, 2016, p.147)

Del mismo modo, entre los metales pesados tenemos al Cadmio (Cd), que es uno de los metales pesados más tóxicos incluso a concentraciones bajas, además posee alta movilidad y poder bioacumulativo; En plantas tiene efectos nocivos ya que disminuye su actividad fotosintética, crecimiento, transpiración y clorofila (Hernández et al, 2019,

p.2). También tenemos al Plomo (Pb) que forma sales, compuestos organometálicos y óxidos, además los compuestos de este metal son tóxicos. La absorción de este metal en las plantas aumenta en relación a un pH bajo del suelo, el pH es un factor para la solubilidad, transporte y biodisponibilidad de metales como el plomo (Levin et al, 2020, p.3). El Cobre (Cu) es un mineral requerido en muchos procesos como: reacciones respiratorias de transporte de electrones y fotosíntesis, pero en niveles altos en los tejidos de la planta ocasiona toxicidad y disminución en su crecimiento. (Li et al, 2020, p.7). Estos fueron algunos de los muchos metales que las plantas bioacumuladoras pueden absorber en sus tejidos.

Figura 1: Efectos potenciales de metales en las plantas

Metal	Planta	efectos tóxicos en la planta
As	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	reducción del área foliar y producción de materia seca; reducción de la germinación de semillas; disminución de la altura de la plántula.
	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	caída en la producción de frutos; reducción del peso fresco de la hoja.
	Canola (<i>Brassica napus</i>)	crecimiento restringido; clorosis; marchitez
Cd	Trigo (<i>Triticum sp.</i>)	disminución de la germinación de semillas; reducción del contenido de nutrientes de la planta.
	Ajo (<i>Allium sativum</i>)	desarrollo reducido de brotes; Acumulación de Cd.
	Maiz (<i>Zea mays</i>)	desarrollo reducido de brotes; inhibición del crecimiento de las raíces.
Co	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	reducción del contenido de nutrientes de las plantas.
	Frijol mungo (<i>Vigna radiata</i>)	disminución de las acciones de las enzimas antioxidantes; Reducción del contenido de azúcar, almidón, aminoácidos y proteínas.
	Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	disminución de la longitud de los brotes, la longitud de las raíces y el área total de las hojas; reducción del contenido de clorofila; contenido de nutrientes de las plantas, actividades de enzimas antioxidantes, disminución del contenido de azúcar, aminoácidos y proteínas de las plantas
Cr	Trigo (<i>Triticum sp.</i>)	crecimiento atrofiado de brotes y raíces
	Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	reducción en la adquisición de nutrientes de las plantas
	Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	inhibición del proceso de germinación; reducción de biomasa vegetal
Cu	Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	acumulación de Cu en las raíces de las plantas; malformación y reducción de la raíz
	Enredadera negra (<i>Polygonum convolvulus</i>)	muerte de la planta; reducción de la producción de biomasa y semillas

Fuente: Okereafor (2020)

En segundo lugar la fitorremediación, se define como una técnica ecológica de recuperación de suelos, lo cual no altera o daña a la biodiversidad (Odoh et al, 2019, p.3), y utiliza plantas potenciales a través de la fitoacumulación, estabilizando los metales en la rizosfera para luego trasladarlos a las hojas, posteriormente se cosecha la biomasa contaminada en la madurez de la planta (Patra, Pradhan & Patra, 2020, p.3-4). Estas plantas utilizadas como agentes para remediar deben ser capaces de adaptarse a las condiciones del clima del sitio contaminado y al suelo (Shah & Daverey, 2020, p. 11)

Por otro lado, dentro de la fitorremediación existen algunos mecanismos, entre ella está la fitoextracción que es la absorción y movimiento de contaminantes como metales en el suelo a través de las raíces de la planta, es un mecanismo de hiperacumulación; las plantas hiperacumuladoras absorben grandes cantidades de metales y las acumulan en su interior (Yu, et al, 2019, p. 1). Por otro lado, está la fitofiltración que se da a través de las raíces, blastofiltración (plántulas) y caulofiltración (brotes de plantas extirpados) (Alvernia & Soesilo, 2019, p.4).

Otro mecanismo es la fitoestimulación que utiliza las raíces con actividad microbiana mejorada para absorber los contaminantes y retenerlos en las raíces para que no se extiendan en el ambiente. Las plantas utilizadas para este proceso deben tener raíces amplias y baja movilidad de metales en la raíz (Ashraf et al, 2019, p. 5). Por otro lado, la fitovolatilización, proceso en el cual los contaminantes se convierten en vapor para luego ser liberados en la atmósfera, esto se debe a los potenciales metabólicos de las plantas con microorganismos que se encuentren en la rizosfera; este proceso no viene siendo el mejor ya que expulsa los contaminantes al aire. La fitodegradación se trata de la descomposición de contaminantes a través de enzimas como la nitroreductasa y deshalogenasa, este proceso solo elimina contaminantes orgánicos. (Ojuederie & Babalola, 2017, p. 10)

En un segundo aspecto de la fitorremediación están las plantas más eficientes en los procesos que son las plantas hiperacumuladoras, estas exhiben algunas características que permiten tolerar y acumular metales presentes en el suelo; sin embargo, estas plantas muestran una baja producción de biomasa (Van Oosten & Maggio, 2016, p.4) Cappa y Pilon-Smits nos dicen que las especies de plantas hiperacumuladoras generalmente desarrollan una eficiente estrategia para la translocación de raíz al brote de metales pesados, para que de esta manera se pueda proteger las células de la raíz de la alta toxicidad de los metales en el suelos contaminados.(2014, p. 5).

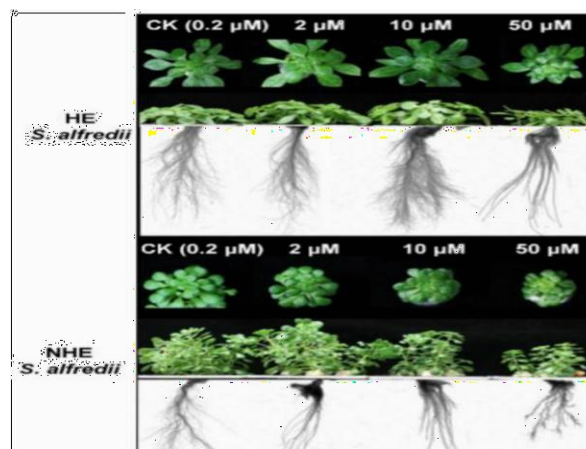
Es natural que las plantas hiperacumuladoras de metales pesados acumulen metal cuando van desarrollándose en su hábitat, ya que pueden acumular entre 100-1000 kg ha⁻¹ doblando niveles altos en concentraciones de metales, que en otras plantas normales, son excelentes candidatos para la fitoextracción, debido a que estas plantas absorben el contaminante en el suelo entre dos o tres niveles de

magnitud en plantas que crecen en suelos contaminados.(Nicoletta Rascio & Flavia Navari , 2011 , p. 171)

Cabe destacar, que el *Sedum alfredii* que es una planta hiperacumuladora que fue descubierto en una histórica región minera en el estado de China, pertenece a la familia Crassulaceae del género de *Sedum* (Yang et al, 2004, p. 2), presentan características de tallos ramificados superiores o en punta que ascienden entre 10 y 20 cm de longitud, con los pétalos amarillos que aparecen de forma oblonga y miden aproximadamente 4-6 mm × 1.6 - 1.8 mm (Delgadillo y González, 2011, p. 3). Las escamas de néctar miden 1,2 mm, con extremos redondeados o incluso romos, que deben ser visibles, las semillas de esta planta son de color marrón y miden 0.6 mm de diámetro. (Peralta y Volke, 2012, p, 76). Esta planta se está convirtiendo en una de las especies más importantes debido a sus beneficios que se han estado descubriendo en el ámbito clínico y ambiental (Bravo y Sahagun, 2016, p, 2).

Por otro lado, el *S. alfredii* tiene la ventaja de tener un rápido crecimiento y una alta producción de biomasa vegetal relativamente grande, lo cual exhibe una fuerte capacidad para hiperacumular y fitorremediar Cd y Zn. (Arnarnwong, 2015, pg. 2). En la investigación de Li y Col nos dice que el *S.alfredii* tiene un crecimiento lento en Zn/ Pb en zonas infértiles, mientras que su biomasa en suelos fértiles son significativamente mayor (hasta en 1800 Kg Ha⁻¹), sin embargo pocos han realizado investigaciones que ayuden a mejorar la fitorremediación e eficiencia del *S.alfredii*. (Lia y Col, 2018, Pg. 4)

Figura 2: Crecimiento de *Sedum alfredii* tratadas con Cu durante 30 días.



Fuente: Lingling et al, (2020)

Otra de las especies es el *Helianthus annuus*, que es una planta perteneciente a la familia de Asteraceae, originaria de América del Norte y es aplicable a diversos tipos de suelos. El girasol se considera como uno de los cultivos más producidos junto con otras semillas oleaginosas, de este se extrae el aceite de girasol que es usado como anti-colesterol (Bahadur et al, 2017, p.1), además presenta usos alternativos ornamentales (Chauhan et al, 2020, p.4) La semilla del girasol posee propiedades curativas a enfermedades pulmonares, cardíacas, tos. Además, es antimicrobiano, antioxidante, poderoso cicatrizante, anti-inflamatorio, etc. Estas semillas se componen del 20% de proteínas ricas en azufre (Guo, Ge & Jom, 2017, p.1-2). Por otro lado, se puede utilizar en la producción de biodiésel y obtención de forraje para alimentar ganado vacuno.

De acuerdo al valor nutricional del *Helianthus annuus*, esta contiene vitaminas, minerales tanto como el zinc y el magnesio, además de ácidos grasos, por ende, pueden ser comestibles. Además, en una investigación se determinó que el girasol germinado posee mayores propiedades antioxidantes en comparación a las semillas crudas (Tiyayon & Duangmal, p.2) Toda la semilla posee 10-27% de proteínas, en semillas sin cáscara alcanza el 53-66%. Su contenido en carbohidratos es del 4-18% (Arrutia et al, 2020, p.11). Además, se menciona que el residuo proveniente de la extracción del aceite de la semilla de girasol contiene fenólicos y que podría ser usado por las industrias alimentarias (Zoumpoulakis et al, 2017, p.4).

Figura 3: Etapas de plántulas (a) y floración (b y c) del girasol.



Fuente: Chen, et al, (2020)

La germinación de la semilla del girasol se da por un tiempo de remojo o empapado de al menos 8 horas, además, también se puede colocar dentro una bolsa de plástico durante 24 horas, en 6-9 días estarán en su etapa de dos hojas. Esta planta está expuesta a múltiples condiciones ambientales, una de sus características es la resistencia a la sequía, bajas y altas temperaturas lo que lo hace de fácil adaptación. (Jiménez et al, 2015, p.2) El *Helianthus annuus* siendo una planta hiperacumuladora posee la característica de producir alta biomasa y tiene un crecimiento rápido, además que crecen bien a un pH de entre 5.7 -8.1 (Wirosoedarmo, et al, 2018, p.5)

El *Helianthus annuus* a pesar de ser una planta de un origen con clima templado, esta se ha adoptado a climas desde húmedos hasta árido, esta cualidad se debe a su tolerancia al estrés hídrico, esta planta se puede desarrollar exitosamente a temperaturas superiores a 10°C pero la temperatura óptima viene a ser 25° C (Tariq, et al, 2018)

Por último, para efecto de un proceso de fitorremediación más eficiente se pueden aplicar quelantes o ácidos orgánicos cuyo fin es aumentar la biodisponibilidad del metal en el suelo y además aplicando las rizobacterias se logra promover el crecimiento de la planta para así aumentar su biomasa (Sobariu & Mahmood, 2017) (Hassan & Pramanik, 2018). Por un lado, el uso de microorganismos simbióticos en la fitorremediación permite mejorar la eficiencia de absorción de metales en las raíces. (Cristaldi et al., 2017). Por otro lado, existen algunos factores que influyen en el proceso de fitorremediación, como el uso de hongos filamentosos y algunas levaduras o especies bacterianas, que al combinarse con las plantas en el proceso de fitorremediación demuestran tener una notable capacidad de sobrevivir en condiciones extremas de pH, temperatura y variabilidad de nutrientes (Oladipo et al, 2018, p.8). Además, mostraron una buena tolerancia a los contaminantes orgánicos e inorgánicos, y son capaces de degradar, secuestrar o transferir los contaminantes del suelo a las plantas (Fiorentino et al, 2016, p. 2).

Tabla 1: Antecedentes

ANTECEDENTES					
N°	Autor	Año	Breve descripción	Nombre de la especie	Resultados
1	G.Garcia-Rosales, Colin C.	2010	Se desarrollaron considerando el efecto del tiempo de contacto y la concentración al pH óptimo de 6 ± 0.2 . Se encontró que el modelo de Freundlich describía la energía de sorción de Pb (II) por la esponja de tallo <i>Z. mays</i> , y se determinó una capacidad de carga máxima de Pb (II) de 80 mg/g -1.	tallo de maíz (<i>Zea mays</i>)	Se obtuvo resultados que mostraron que el <i>Zea mays</i> tiene la propiedad de acechar la esponja de tallo, ya que es un biomaterial útil para la sorción de Pb (II) y que el pH tiene un efecto importante sobre la capacidad de sorción de un metal, se tomó como una alternativa favorable el uso de mecanismo de interacción entre el Pb (II) y <i>Z,mays</i> lo cual concluye que el <i>Z,mays</i> es efectiva para el remoción de Pb (II) en concentraciones en soluciones acuosas.
2	Ma, Y., Prasad, M., Rajkumar, M.& Freitas, H.	2011	Se investigó la mejora en el cual se pueda acelerar y explorar la asociación de plantamicrobio, en donde mejoraría el crecimiento de la planta y facilitaría el secuestro de metales pesados tóxicos en el suelo.	planta-microbio	El uso de la planta-microbio obtuvo resultados que facilitó la remoción por metales pesados como el Cd, Pb, Zn, de tal manera que emplearon bacterias beneficiosas que mejoraron en el crecimiento y la salud de la planta fitorremediadora, hicieron uso de tablas extensas y bocetos esquemáticos lo cual ayudo a enfatizar la información.

3	Kuldeep B , Kripal S.	2015	Se hizo la aplicación de <i>R. communis</i> con el fin de fitorremediar suelos de cultivos / hierbas comestibles y no comestibles sensibles al estrés,	<i>Ricinus communis</i>	<i>R. communis</i> se descubrió que posee una excelente capacidad para fitorremediar metales como Cd, Pb, Ni, As, Cu, así como algunos contaminantes orgánicos como los pesticidas. Se tomó como alternativa aplicar.
4	Amari, T, Ghnaya, T	2017	Se determinaron nuevas idea de mecanismo que rigen a la fitotoxicidad y la fitoextracción en metales, en las cuales presentan alternativas favorables para mejorar y enfatizar el interés en las plantas halófitas en el marco de la fitorremediación.	<i>Plantas halófitas</i>	Se determinaron alternativas favorables para mejorar la fitorremediación haciendo el uso de las plantas <i>halófitas</i> donde obtuvieron como resultado que estas especies podrían ser más adecuadas para la fitoextracción en metales como el Cd, Ni y Pb ya que los glucófitos (algas) son mayormente usados para la fitorremediación.
5	Redman,M, Rizwam, M, Ali, S	2017	Esta especie conocida como medicinal solo absorbe ciertos metales en comparación con otras, la biodisponibilidad de metales es influenciada por el Ph de la rizosfera. El crecimiento de biomasa y la planta disminuye en cuanto aumenta su concentración en metales.	<i>Solanum nigrum</i>	Al aumentar los niveles de metales disminuye el crecimiento y la biomasa del <i>Solanum nigrum</i> , además el contenido de clorofila y carotenoide disminuyó significativamente. En el uso de microbios e hongos se llegó a establecer como una alternativa para lograr mejorar la remediación. Entre los metales que se logró remediar encontramos al Cd con concentraciones de 262 mg/kg en hojas y tallo, también acumula Zn, Ni (se acumula en los frutos)Cr y Pb.

6	Rathore, et al	2017	La capacidad de esta especie depende de factores como el manejo en su cultivo, la gestión en su biomasa, la adición de materiales orgánicos, por otro lado intervienen los mecanismos de fitoextracción y fitoestabilización.	<i>Brassica juncea</i>	La mostaza india con alta biomasa puede acumular metales como Cr, Se, Pb, Hg, Ni; el uso de agentes quelantes, fertilizantes o el ajuste de pH puede aumentar la absorción de metales. Esta planta posee la capacidad de evitar alguna toxicidad del metal, posee enzimas protectoras
7	Rizwan, M, Ali, S, Rehman, M, Rinklebe, J	2018	Esta especie posee alta producción de biomasa, rápido crecimiento, capaz de acumular metales como el Cd en altas concentraciones. Su capacidad de acumulación varía en cuanto a las características del suelo.	<i>Brassica</i>	Presento efectos como la clorosis en las hojas, el crecimiento y la biomasa variaron, además se redujo la longitud de las raíces así como pigmentos fotosintéticos. Pero puede tolerar el estrés al Cd con el uso de mecanismos como quelación, uso de ácido salicílico, microorganismos, enmiendas inorgánicas. En cuanto a la acumulación de metales en biomasa aérea <i>B. juncea</i> es tres veces más y presenta un pH de 5.5. Una menor exposición al metal promovió el crecimiento de las raíces. Las diferencias en absorción del Cd dependen de las especies de <i>Brassica</i> , además de la morfología de su raíz.

8	Zhongmin, Songqiang, Yuchen	2019	Se exploró los mecanismos de <i>S. Chinense</i> en la absorción de Cd y Pb y demostró su potencial para mejorar el rendimiento de la fitorremediación en sitios contaminados con metales.	<i>S. Chinense</i>	El <i>Simplicillium chinense</i> QD10 mejoró significativamente la fitorremediación en suelo con Cd y Pb, se hizo uso como una alternativa los mecanismos de aplicación de <i>S. chinense</i> QD10 como bioadsorbentes para la fitorremediación efectiva de metales pesados con suelos contaminados, también demostró ser una simbiosis mutuamente beneficiosas haciendo uso del hongo <i>Penincilium</i> haciendo que las plantas hospedadoras, tengan un crecimiento favorable..
9	Saleem , M. H., Ali, S., Rehman	2020	El yute requiere de una temperatura optima de 24-30°C con 70-80 de humedad, esta planta además es fuente de vitaminas de A, C y E, además de ser usado para control de plaga y enfermedades, entre muchos otros.	<i>Yute (Corchorus capsularis)</i>	Germina en suelos contaminados con As y Pb, además tolera hasta 300mg Kg-1 de Cu aunque disminuye la altura de la planta y las hojas suelen oxidarse. El uso de ácido salicílico y el ácido nítrico ayudan a mejorar el crecimiento del yute y su biomasa aumentando la absorción de Cd y Pb.
10	Fangyuan B, Zheke Z, Xiaoping Z	2020	Se evaluó el potencial del bambú como especie para la fitorremediación, como su productividad de biomasa, y su capacidad de alta resistencia en suelos contaminados por metales pesados.	<i>Bambu (Bambusoideae)</i>	La especie de bambú, se presentó como una alternativas para mejorar la fitorremediación en suelos contaminados en donde los resultados presentaron una alta productividad de biomasa, y un alto valor económico, también presentaron una alta resistencia al estrés en metales como el Cu, Pb, Cd , Zn.

11	Saleem, M. H., Ali, S., Hussain, S	2020	Conocido como linaza o lino común es uno de los cultivos fibrosos más antiguos, también muestra resistencia contra los metales, están crecen hasta 1.2 m, sus hojas son de 3mm de ancho y 20-40 de largo, sus raíces son fibrosas.	<i>Lino (Linum usitatissimum L.)</i>	Acumulan metales como el Ni, Cu, Cd, Pb y Zn en el orden de raíz> tallo> hojas> semillas> fibra, posee una mayor acumulación de metales en lino micorrizicas, esta acumulación afecta el crecimiento y biomasa de las plántulas de lino. La aplicación de quelantes orgánicos con bajo peso molecular puede mejorar la acumulación de metales.
12	Li,C; Zheng, C, Zhou, K	2020	El algodón es una planta leñosa, presenta raíces profusas, su raíz principal perfora hasta 140 cm, el periodo de crecimiento de esta planta continua 150-200 días.	Algodón	Presenta alta biomasa, además no presenta algún peligro de trasladar metales a la cadena alimentaria de las personas. Por otro lado, la absorción de los metales es variable, presenta buena capacidad para acumular el Cd, Pb, Cr, Cu y Zn. Algunos se

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación fue de tipo aplicada, cuyo propósito es generar conocimiento nuevo sobre un hecho o un objeto para identificar problemas sobre los que se debe intervenir, para definir las estrategias de solución. (Vargas & Zolia, 2009, p.155-165), Por otro lado, Tam, Vera y Oliveros mencionaron que este tipo de investigación presenta el objetivo de crear nuevas tecnologías a partir de conocimientos adquiridos para luego determinar si estos conocimientos son útiles de aplicar, esta información ofrece oportunidades significativas para su difusión (2008, p. 147). Esta investigación es aplicada debido a que se obtiene o se considera información para luego generar alternativas de solución a una problemática; en este caso el principal problema es la contaminación de suelos por metales pesados, en el que para su solución se tuvo en cuenta a la fitorremediación con plantas hiperacumuladoras.

De acuerdo con el diseño de la investigación, se aplicó el diseño cualitativo narrativo de tópicos. Salgado se refirió a este diseño como una recopilación de información que luego se describirá y analizara, al hacerlo se procesan cuestiones que no estaban del todo claras, los estudios narrativos de tópicos se enfocan en un solo suceso o temática. (2007, p.72-73) Por otro lado, también tenemos a Hernández, Fernández y Baptista que mencionaron que es una sucesión de hechos, fenómenos, procesos, en donde regularmente se utilizan como herramientas de recolección, documentos, diarios, artículos de prensa, historias de vida, etc. todo ello enfocado en un solo fenómeno o toma de interés (2014, p. 488-490). De acuerdo a lo anteriormente mencionado se realizó la investigación aplicando este diseño ya que es una recopilación de información, exactamente enfocándonos en un solo suceso actual que viene siendo la contaminación de suelo por metales pesados y como he de remediarlos posteriormente.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.

Tabla 2: matriz de categorización apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Identificar los metales pesados más bioacumulados por <i>Sedum alfredii</i> y <i>Helianthus annuus</i> .	¿Cuáles son los metales pesados más bioacumulados por <i>Sedum alfredii</i> y <i>Helianthus annuus</i> ?	Metales pesados	Cadmio Cromo Zinc Plomo	De acuerdo a su biodisponibilidad en el suelo	De acuerdo a las especies bioacumuladoras (Chauhan, 2020)	De acuerdo a las condiciones ambientales (Levin et al, 2020)
Identificar los efectos que la acumulación de metales pesados ocasionan a <i>Sedum alfredii</i> y <i>Helianthus annuus</i> .	¿Cuáles son los efectos que la acumulación de metales pesados ocasionan a <i>Sedum alfredii</i> y <i>Helianthus annuus</i> ?	Efectos de acumulación de metales	Disminución de crecimiento y biomasa Disminución de clorofila Disminución en la actividad fotosintética	De acuerdo al nivel de toxicidad (Alboudi, 2018)	De acuerdo al estrés oxidativo (Peralta, 2012)	De acuerdo al tipo de metal (Hernández et al, 2019) (Li et al, 2020)
Determinar las alternativas que logran mejorar la fitorremediación de <i>Sedum alfredii</i> y <i>Helianthus annuus</i> para suelos contaminados por metales pesados.	¿Cuáles son las alternativas que logran mejorar la fitorremediación de <i>Sedum alfredii</i> y <i>Helianthus annuus</i> para suelos contaminados por metales pesados?	Alternativas de Mejora de fitorremediación	Enmiendas orgánicas e inorgánicas Aplicación de quelatos Aplicación de rizobacterias Duplicación cromosómica	De acuerdo a la eficiencia de la fitorremediación (Bahadur et al, 2017)	De acuerdo a su aplicabilidad (Iram et al, 2019)	De acuerdo a los resultados beneficiosos (Bahadur, et al, 2017) (Feng et al, 2019)

3.3. Escenario de estudio

Según las investigaciones en algunos casos las plantas bioacumuladoras se cultivaron en invernaderos proporcionándolas de las condiciones adecuadas, entre los invernaderos y además de laboratorios se mencionan algunos como el Instituto de Investigación de Recursos de Tierras, la Universidad de Hazara Mansehra, Pakistan (Bahadur et al, 2017, p. 2), Fatima Jinnah Women University, Rawalpindi; el invernadero Krishi Vigyan Kendra ubicado en el India (Chauhan et al, 2020, p. 4). Estas son algunas universidades y centros de investigación e invernaderos en los que se desarrollaron los procesos de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados, abastecidos con los equipos necesarios para cumplir con todos los procesos, como por ejemplo una radiografía Olympus Delta un analizador de fluorescencia para hallar el contenido de metales en las muestras ya sea de suelo, tallos y hojas de las especies bioacumuladoras. (Forte & Mutiti, 2017, p. 4)

3.4. Participantes

Siendo la investigación narrativa de tópicos, se detalla las fuentes de información del estudio; La búsqueda de la información para nuestro tema de interés se realizó con énfasis a través de fuentes de artículos de investigación y de revisión de diversos lugares del mundo tales como las bases de datos de Scopus y Sciencedirect las mayores fuentes de información para la investigación científica en donde nos permitieron consultar las publicaciones de la editorial científicoacadémica Elsevier. Por otro lado, también se utilizó la biblioteca electrónica Scielo, y de la red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, Redalyc; y además de motores de búsqueda de google, en donde se tomó en consideración libros de McGraw-Hill, Interamericana editores. Toda información fue obtenida para profundizar y completar nuestro estudio, aunque no toda la información fue de fácil acceso, (Vidal, Oramas y Borroto, 2015, p.199).

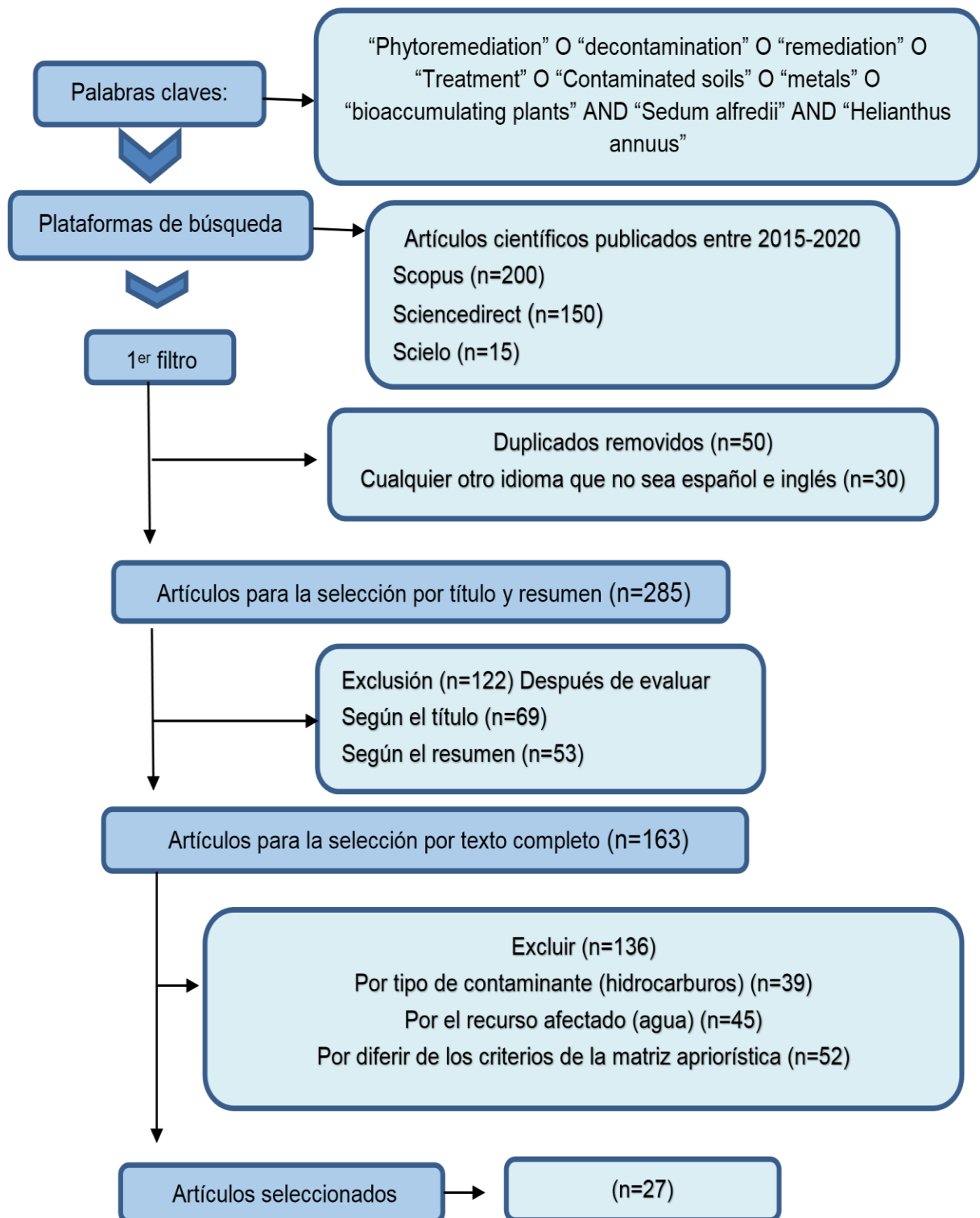
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Como técnica de recolección de datos se utilizó el análisis documental, este análisis se define como una forma de investigación técnica que consiste en seleccionar ideas relevantes de un documento que busca describir y representar los documentos de manera unificada sistemáticamente para favorecer su recuperación. Este análisis es el resultado de la necesidad de brindar al usuario un camino para llegar al documento pertinente (Dulzaides y Molina, 2004, p.2) y como instrumento su respectiva ficha de análisis de contenido, para cada artículo de investigación seleccionado, esta contiene datos generales del autor, año y lugar de publicación, el código de la fuente del artículo. Además, respecto al contenido se toma en cuenta, la planta bioacumuladora, en este caso *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*, además del metal a remediar en el proceso de fitorremediación, las condiciones de crecimiento de la especie fitorremediadora en cuanto a temperatura, humedad, condiciones de luz, etc. Por otro lado, la determinación del contenido del metal acumulado, resumiendo que métodos o procedimientos se usa para su análisis, por último, los resultados de cuánto metal fueron absorbidos por los tejidos de las especies de plantas. Y como conclusión determinar si se obtuvo un resultado eficiente. La ficha se visualiza en anexo 1

3.6. Procedimiento

En el grafico 1 se muestra el procedimiento de recolección de datos que se realiza para la investigación. Se inicia con la determinación de las palabras claves en relación a nuestro tema “Phytoremediation” O “decontamination” O “remediation” O “Treatment” O “Contaminated soils” O “metals” O “bioaccumulating plants” AND “Sedum alfredii” AND “Helianthus annuus”, las fuentes de información o plataformas de búsqueda son Scopus, Sciencedirect y Scielo en ellas se obtiene cierta cifra de artículos, revistas, etc. Como primer filtro solo se tiene en cuenta a los artículos científicos que se ubiquen dentro de los últimos cinco años, seguido de eliminar los documentos duplicados y aquellos que no sean de idioma español e inglés. Con respecto a artículos según título y resumen se excluye los cuales no presenten ninguna relación con el tema, siguiendo con artículos según el texto completo, se sigue ciertos criterios de inclusión y exclusión (Moreno et al, 2018, p. 185). Entre los de exclusión, se eliminaron aquellos artículos que se referían al tipo de contaminante y al recurso afectado ajeno a la investigación y que difiera de los criterios de la matriz. apriorística. Al finalizar se obtiene un número mínimo de artículos los cuales servirá para el desarrollo de la investigación (Fernández, 2019, p. 160).

Gráfico 1: Procedimiento de recolección de datos.



3.7. Rigor científico.

Primeramente, el rigor científico viene a ser un concepto transversal en el seguimiento de una investigación permitiendo validar todo el desarrollo de esta, desde la aplicación científica de los métodos, además de las técnicas de análisis y el procesamiento de datos (Noreña et al, 2012, p.265). En esta se aplicaron criterios como:

La dependencia que según Varela y Vives ofrece información para lograr entender la metodología utilizada, al igual que su efectividad. Se incluye el diseño de estudio, una descripción a detalle del trabajo de campo, etc. (2016, p. 194) Además, Salgado se refiere a este criterio llamado también consistencia lógica, en que investigadores diferentes recopilen datos de campo similares y realicen los mismos tipos de análisis, y que consigan resultados semejantes (2007, p. 74). De acuerdo con la dependencia, la investigación se basa en la información de artículos con descripciones detalladas con respecto a la investigación, lo que nos permite obtener conclusiones y criterios efectivos.

Por otro lado, el criterio de la credibilidad que se reconoce cuando los hallazgos son “verdaderos” tanto para los que participaron en el estudio, como para los que han experimentado. (Arias y Giraldo, 2011, p. 503) Además, Varela y Vives indican a este como la coherencia de los hallazgos con la realidad, estableciendo seguridad para para quienes fueron parte del estudio y el contexto de la investigación. De acuerdo a nuestro estudio, comparamos información y resultados que nos permita tener un contexto válido y que se demuestre coherencia en los resultados

Por otro lado, el criterio de transferencia se refiere a la responsabilidad adquirida del investigador para brindar la información adecuada y suficiente sobre el contexto del estudio y el trabajo de campo (Varela y Vives, 2016, p. 194). También según Cornejo y Salas, este criterio quiere decir que implica la extensión de resultados de la investigación hacia otras poblaciones, un estudio muy riguroso accede una mayor transferibilidad de sus datos o información. Nuestro proyecto cumple con este criterio ya que se incluye el aporte de lo

revisado como base para que se pueda aplicar a un contexto experimental que sirva de antecedente válido para las siguientes investigaciones futuras

Como último criterio está la confirmación o auditabilidad, esta se refiere a que el investigador pueda seguir el rumbo de lo que el investigador inicial llevó a cabo (Cornejo y Salas, 2011, p. 23) De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista, este criterio de confirmación se vincula junto al criterio de credibilidad, involucra la detección en su fuente u origen de los datos, además de manifestar la lógica empleada para su interpretación (p. 459). Por último, se cumple este criterio ya que este estudio se basó en fuentes confiables que nos permite obtener información relevante y eficaz para el desarrollo del tema, dejando con ello una confiabilidad en las fuentes para esta investigación.

3.8. Método de análisis de datos

El análisis de información obtenida se dirige bajo tres (3) criterios de acuerdo a las categorías i) Metales pesados; ii) Efectos de acumulación de metales; iii) Alternativas de Mejora de fitorremediación. Y las subcategorías de cada una de ellas, que se presenta en la matriz apriorística (tabla N°2).

En relación con la primera categoría, metales pesados, se realiza el análisis al contenido y respecto con los resultados de los artículos de investigación que fueron seleccionados. Como subcategoría se presenta algunos metales pesados como el Cd, Pb, Zn y Cr, se fundamenta de acuerdo a los tres criterios de investigación para la categoría referida; mostrando estas, la biodisponibilidad del metal en el suelo, de acuerdo al tipo de especie bioacumuladora de metales y a las condiciones ambientales.

Para la segunda categoría, efectos de acumulación de metales, se toma en cuenta los artículos de investigación seleccionados donde se revisa el porqué de las subcategorías, como la disminución del crecimiento, biomasa, clorofila y la disminución de la actividad fotosintética, mostrando los criterios según el nivel de toxicidad, al estrés oxidativo y al tipo de metal, entre otras invenciones más resaltantes.

Por último, de acuerdo a la tercera categoría, alternativas de mejora de fitorremediación, también de acuerdo a los artículos de investigación obtenidos, se procede a precisar cada subcategoría, en esta se encuentra a las enmiendas, aplicaciones de microorganismos simbióticos, rizobacterias, control de malezas, duplicación cromosómica, etc., mostrando a sus respectivos criterios de acuerdo a su eficiencia, aplicabilidad y los resultados beneficiosos que pueden proceder de esas aplicaciones, entre otras invenciones más resaltantes.

3.9. Aspectos éticos

Para la investigación se tiene en cuenta el Código de Ética de la Universidad de la resolución de Consejo Universitario N° 0126- 2017/UCV y a los principios generales del Artículo 3°, los cuales reconoce el respeto por las personas en su integridad y autonomía, busca el bienestar de los participantes del estudio, así como la justicia sin exclusión alguna, la responsabilidad y la honestidad de los investigadores en la obtención, manejo de la información, procesamiento, interpretación y en la elaboración de la investigación, además de todo ello que se garantice el rigor científico. Por otro lado, se hace uso del Manual de referencias ISO 690 y 690-2, respetando así los derechos de los autores nacionales e Internacionales, de tal manera que se evita afectar la credibilidad de los resultados. Por lo cual se hace posible su desarrollo y factibilidad en el proceso de la investigación. (UCV, 2017, p. 3-5)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar la revisión de 13 documentos sobre la identificación de los metales pesados más bioacumulados por *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*, se presentan los siguientes resultados en la tabla N° 3

Tabla N°3 Identificar los metales pesados más bioacumulados por *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*

Plantas	Metales	Porcentaje de bioacumulación	Autor
<i>H.annuus</i>	Cadmio (Cd)	76,6%	Khalid A. et al.,2018
	Plomo (Pb)	64,3%	
<i>H.annuus</i>	Cadmio (Cd)	56%	Saadia R. et al., 2016
<i>H.annuus</i>	Cadmio (Cd)	42.2%	Eswara R. et al.,2019
	Cromo (Cr)	44%	
	Plomo (Pb)	62%	
<i>H.annuus</i>	Cromo (Cr)	47%	Bahadur A. et al., 2016
<i>H.annuus</i>	Boro (B)	38.5%	Ekmekci Y. et al., 2019
<i>H.annuus</i>	Cobre (Cu)	35%	Forte J. et al., 2017
	Plomo (Pb)	74%	
<i>H.annuus</i>	Cobre (Cu)	40%	Kolbas A. et al.,2014

<i>H.annuus</i>	Cadmio (Cd)	51%	Xuerui C. et al.,2020
<i>H.annuus</i>	Cadmio (Cd)	62%	Ying F. et al.,2019
	Zinc (Zn)	45%	
	Zinc (Zn)	52%	

<i>S.alfredii</i>	Cadmio (Cd)	42%	Junkang G. et al.,2019
<i>S.alfredii</i>	Cadmio (Cd)	55%	Wendan X.et al.,2016
<i>S.alfredii</i>	Zinc (Zn)	35%	Ziwen L. et al., 2019
<i>S.alfredii</i>	Cadmio (Cd)	50%	Wenhao Y.et al.,2018
	Plomo (Pb)	65%	
	Zinc (Zn)	45,5%	

Los resultados obtenidos en la tabla N° 3 nos indican que el porcentaje más bioacumulado por metales como el cadmio, plomo, zinc, fueron los siguientes: El cadmio tuvo un intervalo de 76,6% a 42%, el plomo tuvo un intervalo de 52% a un 65 %, finalmente el zinc de 52% a 35% presentando un intervalo menor de acuerdo al rango de bioacumulación por el cadmio.

Al realizar la comparación con diferentes autores que usaron el *S.alfredii* y *H.annuus* en suelos contaminados con cadmio, plomo , zinc en un mismo estudio, se ha determinado que la mayor remoción se encontró en Cadmio y no en Plomo; de acuerdo con Khalid et al.,(2018,p.3) el cadmio al estar compuesto por iones más pequeños que el Plomo, es más fácil poder remediarlos, ya que mayormente el nivel de contaminante se concentra en las hojas de las plantas,

de esta manera la plantas hiperacumuladoras tendrán mayor biodisponibilidad para absorber los metales pesados.

También se puede decir que, la mayor bioacumulación por cadmio y plomo, se presentan en las raíces, hojas, tallos y flores, demostrando que el porcentaje promedio de remoción es de un 76%, a diferencia de otros metales como el zinc que presentan una escasa bioacumulación de un 35%, esto se debe a que se presenta una disminución gradual de brotes en las raíces, lo que impide radicalmente el crecimiento de la planta por el alto contenido de metal. Bahadur et al., (2016, p.4)

Kuldeep (2015) menciona que los cultivos con alta biomasa tienen la ventaja de bioacumular metales pesados, la mayoría de estos cultivos son plantas productoras ya que tienden a tener un rápido crecimiento, alta biomasa, fuerte absorción de metales pesados como el *Ricinus communis*, que al complementarlo con *Sedum Alfredii*, demuestra que ambos poseen una excelente capacidad para extraer metales como el cadmio, plomo, níquel. Individualmente el *R. communis* tiene un gran potencial para eliminar el cadmio. García (2010) confirma la información del autor, ya que en su investigación se usó la planta productora *Zea mays* que al complementarlo con el *Sedum Alfredii*, arrojaron resultados satisfactorios en la suficiencia para extraer metales como el cadmio.

De acuerdo a la investigación de Prasad (2010) plantea que el uso de bacterias asociadas con plantas bioacumuladoras, tienden a tolerar y reducir la absorción de los metales pesados, incluyendo la biodisponibilidad de remoción por medio de absorción que van directamente a sus raíces y hojas. Según la apreciación de Fangyuan (2020) concuerda que al incluir una especie de planta y una bacteria, sustenta que estas especies al presentar la capacidad para absorber metales, muestran indicios de bioacumular directamente en sus tejidos, el rizoma y en el culmo, lo cual se encuentra considerable para la absorción y acumulación de metales pesados. Después de realizar la revisión de 7 documentos sobre los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*, se presenta los resultados mostrados en la tabla N° 4.

Tabla N°4 Efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*.

Especies de plantas	Efectos de la acumulación de metales	Nivel de toxicidad	Tipo de metal	Autor
<i>Sedum alfredii</i>	A los 30 días de exposición el ENH Inhibió el crecimiento, disminuyendo la raíz, el tallo y la hoja, a comparación del EH.	10µM	Cu	Lingling, et al, 2019
	-Después de 14 días de exposición para el ENH la biomasa, raíces, tallos y hojas se redujeron. -Para el EH hubo una inhibición significativa del crecimiento.	>50 µM ≥100 µM	Ni	Ge, et al. 2020
	Disminución en la germinación, supervivencia, altura de la planta, biomasa final en un 80%.	T4-T5 Composición (Pb 250 y 500 mg / kg, Cd 25 y 50 mg / kg y Cr 100 y 200 mg / kg respectivamente)	Pb, Cd y Cr	Reddy, et al, 2020
	Para dos cultivares de girasol (Sambro y tarsan-1018) el largo de los brotes y raíces disminuyeron en un 10%-43% y 4%-40% respectivamente.	4 mM – 8 mM	Br	Ekmerci, et al, 2020
	-color amarillento en las hojas. -el Cd causa más la disminución de biomasa vegetal y brotes, longitud de raíces a comparación del Pb - un retraso de crecimiento a causa del Cd	80-200mg kg ⁻¹ suelo	Cd y Pb	Alaboudi, et al, 2018
<i>Helianthus annuus</i>	Clorosis Putridión en el tallo Reducción en el crecimiento en un 40%-55% Reducción de la biomasa	1000 mg kg ⁻¹ Pb	Pb	Chauhan, et al, 2020
	- Mejora del contenido de prolina en hojas			
	- Disminución en el crecimiento - Disminución en clorofila y contenido de carotenoides	20 mg/kg	Cr	Farid, et al, 2015

Los resultados obtenidos en la tabla N°4 nos indica que los efectos presentados en *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* a causa de la acumulación de metales son: disminución de crecimiento y biomasa, reducción de clorofila y por ende clorosis, también la pudrición en el tallo. Estos efectos son ocasionados debido al estrés oxidativo que los metales en concentraciones altas ocasionan a la planta.

En los resultados se muestran que *Sedum alfredii* según Ge (2020) presenta signos de estrés ante el Ni, en donde se observó que después de 14 días para NHE (ecotipo no hiperacumulante) a $>50 \mu\text{M}$, y la biomasa de raíz, tallo y hojas se redujeron, a los 28 días. La biomasa disminuyó drásticamente a niveles de Ni $> 10 \mu\text{M}$, y las plantas no lograron sobrevivir a niveles de concentración de $200 \mu\text{M}$. Por otro lado, en la investigación de Lingling (2020) con *S. alfredii* HE (ecotipo hiperacumulante) y NHE después de una exposición de 30 días a diferentes niveles de Cu en ambos se mostraron síntomas diferentes. El exceso de este metal a $10 \mu\text{M}$ inhibió el crecimiento de la planta NHE disminuyendo su biomasa de la raíz, tallo y hojas en un 89, 91 y 84 % respectivamente, y para un nivel de $50 \mu\text{M}$ se inhibe notablemente el crecimiento. (pp.3) Comparando con la investigación de Redman (2017) en esta sucede lo mismo en cuanto al crecimiento y biomasa, estas variaron con el tipo de metal, dosis y duración de la aplicación del metal, estos efectos surgen al aumentar la concentración de dicho metal, por ejemplo, para el cadmio aumento la concentración a 40-80 mg kg en el cual la altura y el peso seco de los brotes disminuyeron.

Después de un tratamiento de $50 \mu\text{M}$ cobre, *S. alfredii* NHE exhibió clorosis, ya que el contenido de clorofila disminuyó. Por otro lado, las plantas HE tratadas con $0.2 \mu\text{M}$ durante 30 días y con una exposición de $10 \mu\text{M}$ Cu se logró estimular el crecimiento de las hojas y por ende mejoró la producción de clorofila (Lingling et al, 2020, pp4). Rizwan (2018) de igual modo, su especie en estudio presentó los mismos efectos de clorosis foliar debido a una disminución en la densidad del cloroplasto.

En los resultados se observa en cuanto a la especie *Helianthus annuus*, en la investigación de Chauhan se encontraron alturas variadas a diferentes concentraciones de plomo, la altura máxima y mínima en brotes fue de 91.367 cm y 75.367 cm a 1000 mg kg^{-1} en el control de PBH (Phule Bhaskar) a 60 días, mientras que las otras variedades no hubo mayor alcance; en cuanto a las plántulas se redujo en un 40- 50% a 1000 mg kg^{-1} . El plomo mostró toxicidad a 1000 mg kg^{-1} síntomas como clorosis, coloración amarillenta de hojas y pudrición del tallo. En cuanto al contenido de clorofila el Pb no mostro mayor toxicidad en la variedad de PBH (7.198 mg g^{-1}) en comparación con las otras

variedades. Además, el estrés por Pb mejoro el contenido de prolina en hojas con una mayor cantidad en PBH ($31.158 \mu \text{ mol g}^{-1}$) a una concentración de 1000 mg kg^{-1} . (2020, pp8). En una investigación del 2020, en la planta de estudio de Fangyuan, esta puede sobrevivir al estrés por metales en el suelo o en condiciones hidropónicas, aunque se revelo que, en altas concentraciones de metales, los efectos visuales que se observan son necrosis y clorosis, una de las principales causas de intoxicación por plomo en una de las especies de bambú fue el desequilibrio de nutrientes minerales especialmente Na^+/K^+ .

Alaboudi menciona que el Cd fue más efectivo para disminuir la biomasa vegetal, brotes y longitud de raíces en comparación con el Pb, su crecimiento y el metabolismo del girasol se vio afectado por el estrés de estos metales; El Pb disminuyó significativamente los brotes y raíces en un 71.60% y 94.11%, respectivamente. En altas concentraciones las hojas mostraron un color amarillento a pardo (2020, p.3). En la investigación de Rehman (2017), del cual estudia el crecimiento de *S. nigrum* que es una especie expuesta al Cd a una mayor exposición de 24 mg kg^{-1} , del cual sucede lo mismo que menciona Alaboudi (2020) en ella el Cd reduce la biomasa, la altura de la planta y el peso seco de los brotes a 40 y 80 mg kg^{-1} , la longitud de sus raíces, además del diámetro (40 mg kg^{-1}), todos aquellos efectos lograron percibirse a altas concentraciones del metal.

Por regla general, los niveles altos de toxicidad están alrededor de 100 mg kg^{-1} para especies sensibles, 50 mg kg^{-1} para moderadamente tolerantes y 1000 mg kg^{-1} para hiperacumuladoras. Sobre Cd y Pb el nivel crítico es alrededor 5-10 y $0.6-28 \text{ mg kg}^{-1}$, además la disminución de clorofila es un efecto comúnmente observado de Cd, Pb y Ni. (Amari, Ghnaya y Abdelly, 2017, p.6)

Por otro lado, después de realizar la revisión de 10 documentos sobre las alternativas que logran mejorar la fitorremediación de *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* para suelos contaminados por metales pesados, se presenta los resultados mostrados en la tabla N°5.

Tabla N° 5. Alternativas que logran mejorar la fitorremediación de *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* para suelos contaminados por metales pesados

Especie	Alternativa de mejora	Descripción	% de acumulación	Resultados beneficiosos	autor
<i>Sedum alfredii</i>	Duplicación cromosómica	tipo de mutación que implica la producción de una o más copias de un gen o región de un cromosoma	Contenido de Cd aumento del 17.49 % al 42,82%	La planta en estudio es un mixoploide y mejor morfología de la planta	Feng, et al, 2020
	Aplicación de quelatos y rizobacterias	El ácido etilendiaminotetraacético en conjunto con promotores de crecimiento como <i>Burkholderia</i> sp. D54 o <i>Burkholderia</i> sp. D416	EDTA þ D416 Aumento Cd en los brotes en un 33% pero disminuyó en Pb tanto en raíces como en brotes.	EDTA por sí sola no funciona totalmente, pero la inoculación de las rizobacterias ayuda en el crecimiento de las plantas y la respiración del suelo.	Guo, et al, 2020
	Aplicación de rizobacterias	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Aumento del 88% de Cd en brotes, aumento en toda la planta de 559,13 µg Cd	Acelera un transporte inverso y a larga distancia del Cd y sacarosa en la planta, mejora la biomasa y concentración de Cd.	Wu, et al, 2020
	Enmiendas orgánicas	Fertilizante N y estiércol de cerdo compostado	el estiércol de cerdo aumento la absorción de Zn en brotes en un 12%	Con la dosis adecuada de 1 a 2.5mmol L ⁻¹ se logró acumular Zn y Cd en brotes, además de mejorar la biomasa y su crecimiento.	Lin, et al, 2019
	Enmiendas orgánicas y	estiércol de cerdo compostado	La concentración	La adición de enmiendas tuvo	Xiao, et al, 2016

	campo eléctrico	(PMC), ácido húmico (HA)	de Cd en las raíces aplicando el campo DC fueron de 62,3789,93 mg kg. PMC y la adición de HA resultó en un aumento concentración de Cd de la raíz en 22,86-33,12 y 14,29-29,36%, respectivamente	un efecto significativo en los brotes y raíces. la aplicación de un campo eléctrico mejoró la biodisponibilidad de Cd, la capacidad en el suelo, promovió la translocación de Cd de las raíces a los brotes y por lo tanto aumentó la acumulación de Cd	
	quelatos	S -ácido etilendiamina disuccínico (EDDS), ácido cítrico (CA) y aplicación de ácido oxálico (OA)	Las concentraciones de Pb y Zn en hojas con el tratamiento OA2.5 aumento en 127% y 28.4%, la absorción de Cd, Pb y Zn por brote fue en 21.5%, 117% y 44.9% para la adición de OA-1	La adición de OA produjo más biomasa de brotes, aumento de clorofila, mejora en los efectos tóxicos de metales en la planta.	Liang, et al, 2019
<i>Helianthus annuus</i>	Enmiendas orgánicas	Compost y vermicompost	mayor contenido de Pb en raíces con un promedio de 134.75 mg kg ⁻¹ . En hojas 28.38 mg kg ⁻¹ . Para Cd fue de 8.26 mg kg ⁻¹	Efectiva producción de biomasa. Mayor desarrollo del girasol y mayor extracción de Pb Y Cd en raíces.	Cerron, et al, 2020

	Agentes quelantes	Ácido cítrico (AC), ácido oxálico (OC) y disuccinato de	Mayor concentración de Cd 700.38	Mayores concentraciones de metales,	Chen, Yang y
		etilIndiamina (EDDS)	mg/kg en brotes y 108.27 mg/kg en raíz. Además de U en brotes y raíces 1.3 mg/kg y 44.84 mg/kg respectivamente	mejora eficazmente la capacidad para absorber y transportar U y Cd	Wang, 2020
	rizobacterias	SS1, SS3 Y SS6	SS6 (107171%), SS1 (99.3- 135%) Y SS3 (91-138%) en 20, 30 y 40 ppm de Cr, respectivamente	Mejora del crecimiento, mejor acumulación en brotes y raíces, el SS6 fue mejor que las otras bacterias tolerantes de metales.	Bahadur, et al, 2016

Los resultados obtenidos en la tabla N° 5 nos indican que las técnicas o alternativas de mejora para fitorremediar metales en el suelo para las dos especies en nuestro estudio son: las enmiendas orgánicas, el uso de quelatos y rizobacterias y duplicación cromosómica.

En cuanto a enmiendas orgánicas, Xiao (2016) utilizó el estiércol de cerdo compostado y la adición de ácido húmico, que tuvo una acumulación de metales y en combinación con la aplicación de un campo eléctrico ayudó a mejorar la translocación de estos, la concentración de Cd en las raíces aplicando el campo DC fueron de 62,37-89,93 mg kg. PMC y la adición del ácido húmico resultó en un aumento de concentración de Cd de la raíz en 22,86-33,12 y 14,29-29,36%, respectivamente. Y Rathore (2017) en cuanto a enmiendas orgánicas, el asevera e identifica a la materia orgánica como un importante sorbente de metales en los suelos y sedimentos, ya que, la descomposición de estas enmiendas ocasiona cambios en las propiedades químicas del suelo. El comportamiento de los metales pesados se ve influenciado por la materia orgánica, extrayendo o

movilizando metales, también mejora las poblaciones microbianas del suelo. Y es por ello que en definitiva muchas investigaciones afirman que la aplicación de enmiendas orgánicas resulta beneficiosa para el potencial de fitorremediación, de acuerdo con Redman (2017) y Rizwan (2018) la acumulación de cadmio fue mayor con NH_4 , además de aplicar urea, compost, también el uso de azufre elemental es un enfoque más económico para mejorar la capacidad de fitorremediar de las plantas.

Por otro lado, entre los agentes quelantes tenemos a, el ácido cítrico, aunque no se compara a los resultados de acumulación obtenidos por el ácido oxálico, en la investigación de Farid (2015) al aplicarse ambos quelantes en combinación en concentraciones altas provocaron que el crecimiento de la planta aumente, además de que el estrés por cadmio mejorará cuando se les aplicaron los quelantes. Además, tenemos que la interacción del ácido húmico y metal provoca una floculación que logra aumentar la solubilización y la fracción extraíble de metales. Por lo tanto, materiales ricos en ácido húmico pueden ser de gran ayuda en la remediación de suelos con metales mediante la fitoextracción. De acuerdo como Saleem (2020) al entrar en una comparación en su investigación el asegura que el uso de agentes quelantes como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), el ácido cítrico, etc. han demostrado ser una gran fuente fertilizante de micronutrientes, estos quelatos ayudan a la fitoextracción de metales pero no de su eliminación; la concentración de ácidos en la raíz proporciona fuentes de carbono para microorganismos del suelo facilitando la movilización de metales del suelo a la planta.

Por otro lado, otra alternativa de mejora es la duplicación cromosómica viene a ser una muy innovadora alternativa y con muy buenos resultados para acumular metales, esta tecnología de ingeniería cromosómica se ha utilizado ampliamente en muchas especies diferentes, la generación de plantas duplicadoras de conjuntos de cromosomas ha aumentado el rendimiento de las plantas estudiadas. Esta alternativa logra mejorar las características morfológicas de la planta, hojas con verdes, tallos más gruesos y fuertes, además del aumento de clorofila. Por otro lado, la acumulación de Cd en la raíz fue 2.95 veces mayor con esta alternativa (Feng, et al, 2019).

Bahadur, en su investigación las cepas bacterianas tolerantes al cromo aplicadas al *Helianthus annuus*, demostraron mejorar el crecimiento y el rendimiento de la planta, las bacterias aumentaron significativamente la concentración de cromo en el brote siendo casi el doble que el control. Al comparar las cepas bacterianas con el control, el aumento máximo de concentración fue en 30 ppm Cr en SS6 (51%), SS3 (47%) Y SS1 (40%). (2017, pp5) Esta información concuerda con la mencionada por Zhongmin, et al (2019) ya que *S. chinense*, siendo una cepa de hongo mostro gran capacidad para absorber cadmio y plomo logrando la eliminación de estos metales en el suelo en 37- 42,9%, esta cepa mejoro la acumulación de metales en los tejidos de la planta en su estudio, la concentración en raíces aumento en el 48%.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que al analizar el uso de estas dos plantas hiperacumuladoras como el *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* presentaron tener antecedentes que corroboraron su eficiencia para fitorremediar suelos contaminados con metales, también que al complementar con otras especies y hacer el uso de otras técnicas favorecen en su capacidad para remediar.

En relación al primer objetivo, sobre la identificación de los metales pesados más bioacumulados por *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*, se concluye que el mayor porcentaje de remoción se encontró en el cadmio en un 76%, esto debido a que la mayor bioacumulación se presentan en las raíces y hojas, por otro lado al usar dos plantas hiperacumuladoras de metales demostraron una excelente capacidad para extraer metales como el cadmio, plomo, zinc.

Se concluye también que los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* son la disminución del crecimiento, la disminución de la biomasa, reducción de clorofila, además también presentan pudrición en los tallos. Estos efectos se observan a concentraciones de 50 – 200 mg kg en el caso del cadmio, también otro metal que se ha observado es el plomo que a una concentración de 250-1000 mg kg se puede percibir la clorosis, que viene a ser una coloración amarillenta en las hojas. En algunos metales como el Pb, Br, Cr y Cd la reducción en su crecimiento fue de un 40 a 80 %.

Por otro lado, se concluye que las alternativas de mejorar para la fitorremediación de *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus* para suelos contaminados con metales pesados son, las enmiendas orgánicas, los quelantes, el uso de rizobacterias y una alternativa innovadora como la duplicación cromosómica, que en la cual presenta muy buenos resultados para acumular metales, ya que mejora las características morfológicas de la planta, logrando que las hojas sean más verdes y por ende exista una mayor generación de clorofila, además de tallos más gruesos y fuertes. Por otro lado, las enmiendas orgánicas siendo estas

sustancias o mezclas de carácter mineral u orgánico que, al incorporarlo al suelo, mejorar sus características, entre las enmiendas tenemos al ácido húmico, el ácido cítrico, entre otros, además del compost; presentan grandes aumentos en la acumulación de metales. Además de mejorar la acumulación de contaminantes, también mejora el crecimiento y producción de biomasa, fotosíntesis de las plantas.

VI. RECOMENDACIONES

Considerando la calidad de la investigación y en función a los objetivos se recomienda a los futuros investigadores lo siguiente:

- ✓ Profundizar el uso de *Sedum alfredii* y *Helianthus annuus*, para bioacumular otros metales como: el mercurio, cobre, mercurio, cromo, etc. Ya que, resultaría beneficioso ampliar la información con respecto a estos metales y otros.
- ✓ Por otro lado, se recomienda también aplicar las alternativas ya mencionadas en esta revisión para minimizar el estrés oxidativo de las plantas hacia los metales pesados
- ✓ Se recomienda aplicar la información presentada en cuanto a las alternativas de mejora para fitorremediar suelos contaminados con metales, en zonas con mayor actividad minera, integrando diferentes técnicas para una mayor reducción de metales pesados, así se evitará problemáticas posteriores para el medio ambiente y la salud humana.

REFERENCIAS

1. ASHRAF, Sana; ALI, Qasim; ZAHIR; ASHRAF, Sobia & ASHRAF, Hafiz. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 174(2019) 714-727. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.02.068>
2. ALABOUDI, K., AHMED, B., & BRODIE, G. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals Of Agricultural Sciences*, [online], 2018, 63(1), 123-127. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2018.05.007>
3. ALVERNIA, P & SOESILO, T. Phytoremediation as a Sustainable Way for Land rehabilitation of Heavy Metal Contamination. The 1st International Conference on Engineering and Applied Science [online] (2019) 012062 doi:10.1088/1742-6596/1381/1/012062
4. ARIAS VALENCIA, María Mercedes y GIRALDO MORA, Clara Victoria. El rigor científico en la investigación cualitativa. *Invertir. educ. enferm* [en línea]. 2011, vol.29, n.3 [citado 2020-06-12], pp.500-514. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-53072011000300020&lng=en&nrm=iso
5. ARRUTIA, Fátima, BINNER, Eleanor, WILLIAMS, Peter & WALDRON. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 2020. [online] <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.044>
6. BAHADUR, Ali, [et al]. The influences of Cr-tolerant rhizobacteria in phytoremediation and attenuation of Cr (VI) stress in agronomic sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Chemosphere* 179 [online] 2017, 112-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.102>
7. BRAVO-AVILA, Francisco Miguel; RODRIGUEZ-SAHAGUN, Araceli; CASTELLANOS-HERNANDEZ, Osvaldo. A. y RUVALCABA-RUIZ, Domingo. Regeneración de *Sedum praealtum* A.DC (siempreviva) vía organogénesis. *Nova scientia* [online]. 2016, vol.8, n.17 [citado 2020-05-

- 12], pp.126-139. Disponible en:
<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200707052016000200126&lng=es&nrm=iso>. ISSN 2007-0705.
8. CRISTALDI, A , CONTI, G, EH Jho , ZUCCARELLO P, GRASSO A, COPAT, C., FERRANTE, M., Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados y HAP. Una breve reseña, *Tecnología e innovación ambiental* , 8 (2017) , págs. 309 – 326
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.08.002>
9. CAPPAS, JJ, Pilon-Smits, EAH Aspectos evolutivos de la hiperacumulación elemental. *Planta* 239, 267-275 (2014).
<https://doi.org/10.1007/s00425013-1983-0>
10. CORTES, José L. et al. Spatial distribution of heavy metals in urban dust from Ensenada, Baja California, Mexico. *Rev. Chapingo ser. cienc. for. ambient* [online]. 2017, vol.23, n.1 [citado 2020-04-30], pp.47-60.
Disponible en:
<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182017000100047&lng=es&nrm=iso>. ISSN 2007-4018.
<http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2016.02.005>
11. CORNEJO, Marcela y SALAS, Natalia. Rigor y calidad metodológicos: un reto a la investigación social cualitativa. *Psicoperspectivas*, 10(2), 12-34. 2011. Disponible en DOI:10.5027/PSICOPERSPECTIVAS-VOL10ISSUE2-FULLTEXT-144
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/psicop/v10n2/art02.pdf>
12. CHAUHAN, Priti; RAJGURU, AP. DUDHE et al., Efficacy of lead (Pb) phytoextraction of five varieties of *Helianthus annuus* L. from contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation* (2020), doi:
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100718>
13. DELGADILLO-LOPEZ, Angélica Evelin et al. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop. subtrop. agroecosyst* [online]. 2011, vol.14, n.2 [citado 2020-05-12], pp.597-612. Disponible en:

<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S187004622011000200002&lng=es&nrm=iso> . ISSN 1870-0462.

14. DULZAIDES IGLESIAS, María Elinor y MOLINA GOMEZ, Ana María. Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. ACIMED [online]. 2004, vol.12, n.2 [citado 2020-07-03], pp.1-1.
Disponible en:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S10249435200400020011&lng=es&nrm=iso ISSN 1024-9435.
15. FRANCO, Luis; MUÑOZ, Paula y GARCIA, Fabián. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea] Vol 14 No. 2 (145-153) Julio - Diciembre 2016. DOI:10.18684/BSAA(14)145-153
16. FENG, Ying, [et al]. Chromosome doubling of *Sedum alfredii* Hance: A novel approach for improving phytoremediation efficiency. *Journal of environmental science* 86 (2019) 87-96
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.05.016>
17. FERNANDEZ, Jose, et al. Aspectos básicos sobre la lectura de revisiones sistemáticas y la interpretación de meta- análisis. *Acta Med Peru*. 2019; 36(2): 157-169. Disponible en:
<http://www.scielo.org.pe/pdf/amp/v36n2/a13v36n2.pdf>
18. FIORENTINO, V. ENTORINO, C. ROCCO, V. CENVIZO, D. AGRELLI, L. GIOIA, I. Di MOLA, P. ADAMO, O. Pepe, M. FAGNANO. Phytoremediation potential of *Arundo donax* (Giant Reed) in contaminated soil by heavy metals: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management, Sci. Entorno total*. 175 (2016) <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109427>
19. FORTE, Jenna & MUTITI, Samuel. Phytoremediation Potential of *Helianthus annuus* and *Hydrangea paniculata* in Copper and Lead Contaminated Soil. *Water Air Soil Pollut* [online] (2017) 228:77 DOI 10.1007/s11270-017-3249-0

20. JIMENEZ-SUANCHÁ, SONIA CONSTANZA; ALVARADO S., OSCAR HUMBERTO y BALAGUERA-LOPEZ, HELBER ENRIQUE. Fluorescencia como indicador de estrés en *Helianthus annuus* L. Una revisión. *rev.colomb.cienc.hortic.* [en línea]. 2015, vol.9, n.1 [citado 2020-05-12], pp.149-160. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3753>
21. HERNÁNDEZ-BARANDA, Yenisei et al. Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *cultrop* [online]. 2019, vol.40, n.3 [citado 2020-05-17], e10. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000300010&lng=es&nrm=iso
22. HERNÁNDEZ, Roberto; FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar. Metodología de la investigación. Interamericana editores, S.A. sexta edición. México. 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0
23. IRAM, Shazia, et al. Mycological assisted phytoremediation enhancement of bioenergy crops *Zea mays* and *Helianthus annuus* in heavy metal contaminated lithospheric zone, *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28:4, 411-430, <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1597011>
24. KUMARI, Shivani; AMIT; JAMWAL, Rahul; MISHRA, Neha; SINGH, Dileep. Recent developments in environmental mercury bioremediation and its toxicity: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, Volumen 13, mayo de 2020, 100283. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100283>
25. LEVIN, Ronnie; VIEIRA, Carolina; MORDARSKI, Daniel & ROSENBAUM, Marieke. Lead seasonality in humans, animals, and the natural environment. *Environmental research*. [online] Vol 180, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108797>
26. LI, Changfeng, [et al]. Toleration and Accumulation of Cotton to Heavy Metal - Potential Use for Phytoremediation. *Soil and Sediment*

- Contamination: An International Journal, [online]. 2020.
<https://doi.org/10.1080/15320383.2020.1747979>
27. LIU, Shuming; YANG, Bo; LIANG, Yunshan; XIAO, Yunhua & FANG, JUN.
 Prospect of phytoremediation combined with other approaches for
 remediation of heavy metal-polluted soils. Environmental Science and
 Pollution Research. [online]. 2020 <https://doi.org/10.1007/s11356-02008282-6>
28. MARCANO GODOY, Keiber Alberto y DELVASTO ANGARITA, Pedro
 Luis. Contaminación de suelos por metales pesados debido a la presencia
 de pilas gastadas. *Revista de Investigación* [online]. 2016, vol.40, n.88
 [citado 2020-04-30], pp. 78-104 .
 Disponible en:
 <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142016000200005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1010-2914
29. MORENO, Begoña et al. Revisiones Sistemáticas: definición y nociones
 básicas. Rev. Clin. Periodoncia Implantol. Rehabil. Oral [online]. 2018,
 vol.11, n.3 [citado 2020-06-25], pp.184-186. Disponible en:
 <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-01072018000300184&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0719-0107.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0719-01072018000300184>.
30. NICOLETTA RASCIO , FLAVIA NAVARI. Heavy metal hyperaccumulating
 plants: how and why do they do it, and what makes them so
 interesting. *Revista de revicion* [online]. 2011, vol. 180 [citado 2020-05-30], pp. 169-181 . Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>
31. NOREÑA, Ana; MORENO, Noemi; ROJAS, Juan y MALPICA, Dinora.
 Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa.
 2012, Vol.12(3) 263-274. Disponible en
<http://www.scielo.org.co/pdf/aqui/v12n3/v12n3a06.pdf>
32. ODOH, C. K., ZABBEY, N., SAM, K., & EZE, C. N. (2019). *Status, progress and challenges of phytoremediation - An African scenario. Journal of Environmental Management*, 237, 365–378.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.090>

33. OG Oladipo , OO Awotoye , A. Olayinka , CC Bezuidenhout , MS Maboeta. Rasgos de tolerancia a metales pesados de hongos filamentosos aislados de sitios de minería de oro y piedras preciosas. Braz. J. Microbiol. , 49 (2018) , pp. 29 - 37 <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.06.003>
34. OJUEDERIE, Omena & BABALOLA, Olubukola. Microbial and PlantAssisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review. Int. J. Environ. Res. Public Health [en línea]. 2017, 14, 1504; [fecha de consulta: 02 de Mayo de 2020]. doi:10.3390/ijerph14121504
35. OKEREAFOR, Uchenna, [et al]. Toxic Metal Implications on Agricultural Soils, Plants, Animals, Aquatic life and Human Health. Int. J. Environ. Res. Public Health, [online] 2020, 17, 2204; doi:10.3390/ijerph17072204
36. PATRA, DK, PRADHAN, C. y PATRA, HK. Toxic metal decontamination by phytoremediation appraoch: Concept, challenges, opportunities and future perspectives. Environmental Technology & Innovation, [online] (2020)100672. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100672>
37. PERALTA-PEREZ, M. del R. y VOLKE-SEPULVEDA, T.L.. La defensa antioxidante en las plantas: Una herramienta clave para la fitorremediación. Rev. Mex. Ing. Quím [online]. 2012, vol.11, n.1 [citado 2020-05-12], pp.75-
88. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S166527382012000100006&lng=es&nrm=iso . ISSN 1665-2738.
38. RATHORE, S, [et al]. Phytoremediation Mechanism in Indian Mustard (Brassica juncea) and Its Enhancement Through Agronomic Interventions. Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci. [online] 2017. DOI 10.1007/s40011-017-0885-5
39. REHMAN, M. Z. U., RIZWAN, M., ALI, S., OK, Y. S., ISHAQUE, W., SAIFULLAH, WAQAR, M. (2017). Remediation of heavy metal

- contaminated soils by using solanum nigrum: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 143, 236-248. doi:10.1016/j.ecoenv.2017.05.038
40. RIZWAM, Muhammad, [et al]. Cadmium phytoremediation potential of Brassica crop species: A review. *Science of the Total Environment*, 631-632, 2018, 1175-1191. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.104>
41. SHAH, Vijenda & DAVEREY, Achelesh. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation* [online]. 2020, vol 18. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>
42. SALGADO LEVANO, Ana Cecilia. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *liber*. [online]. 2007, vol.13, n.13 [citado 2020-05-30], pp.71-78. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272007000100009&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1729-4827
43. SALEEM, M. H., ALI, S., REHMAN, M., HASANUZZAMAN, M., RIZWAN, M., IRSHAD, S., QARI, S. H. Jute: A potential candidate for phytoremediation of metals—A review. *Plants*, [en línea]. 2020 9(2) doi:10.3390/plants9020258
44. SALEEM, M. H., ALI, S., HUSSAIN, S., KAMRAN, M., CHATTHA, M. S., AHMAD, S., ABDEL-DAIM, M. M. Flax (linum usitatissimum L.): A potential candidatfor phytoremediation? biological and economical points of view. *Plants* [en línea], 2020, 9(4) doi: 10.3390/plants9040496
45. SOBARIU, D. , FERTU, D. , M. PAVEL., Rhizobacteria and plant symbiosis in heavy metal uptake and its implications for soil bioremediation- A review biotechnology, [online]. 2017, vol 39. disponible en [:https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.09.002](https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.09.002)
46. TAM, Jorge; VERA, Giovanna y OLIVEROS, Ricardo. Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. *Pensamiento y Acción* 5:145-154. 2008.
47. TIYAYON, P & DUANGMAL, K. Changes in chemical composition, minerals, total phenolic compounds and antioxidant activities during

- germination of sunflower sprout. *Acta Horti* (2018) 527-532. DOI 10.17660/ActaHorti.2018.1213.79
48. UNIVERSIDAD Cesar Vallejo (Perú). Resol. Consejo Universitario 0126. Código de ética en la investigación de la Universidad Cesar Vallejo, Trujillo: 2017, 12pp.
49. Ma, Y., Prasad, M., Rajkumar, M., & Freitas, H. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. *Biotechnology Advances*, 29(2), 248-258.
- doi: 10.1016/j.biotechadv.2010.12.001.
50. MJ Van Oosten, A. Maggio ,Biología funcional de halófitos en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados .Reinar. Exp. Larva del moscardón. ,[en línea] 111 (2016) , pp. 135 – 146 <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.11.010>
51. VARELA, Margarita y VIVES, Tania. Autenticidad y calidad en la investigación educativa cualitativa: multivocalidad. *Investigación en educación médica*, Vol 5(19) [en línea] 2016. 191-198.
- <https://doi.org/10.1016/j.riem.2016.04.006>
52. VARGAS Cordero, Zoila Rosa. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación* [en línea]. 2009, 33 (1), 155-165 [fecha de consulta 2 de junio de 2020]. ISSN: 0379-7082. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44015082010>
53. VIDAL LEDO, María; ORAMAS DIAZ, Jehová y BORROTO CRUZ, Radamés. Revisiones sistemáticas. *Educ Med Super* [online]. 2015, vol.29, n.1 [citado 2020-06-25], pp.198-207. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086421412015000100019&lng=es&nrm=iso ISSN 0864-2141.
54. WIROSOEDARMO, Ruslan, [et al]. Effect of Adding Chelating Agents on the Absorption of Zinc from Polluted Soil Sludge Textile Industrial Waste

- by Sunflower Plant (*Helianthus annuus* L.). *Applied and Environmental Soil Science* (2018) p8. <https://doi.org/10.1155/2018/8259520>
55. Yang, X.E, Long, X.X, Ye, H.B, HE, Z.L, Calvert, D.V., Stoffella, P.J., 2004. Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* Hance). *Plant Soil* 259, 181-189. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114401>
 56. YU, Guo, [et al]. Phytoextraction of soils contaminated with cadmium: comparison of plant species and low molecular weight organic acids. *International Journal of Phytoremediation*. [online]. 2019. 1549-7879.
 57. ZOUMPOULAKIS, Panagiotis, [et al]. Evaluating Modern Techniques for the Extraction and Characterisation of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds Phenolics. Antioxidants. [online] 2017, 6, 46; doi:10.3390/antiox6030046
 58. ZWOLAK, A., SARZYNSKA, M., SZPYRKA, E., & STAWARCZYK, K. Sources of soil pollution by heavy metals and their accumulation in vegetables: A review. *Water, Air, and Soil Pollution*, [online]. 2019, 230(7) <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4221-y>

ANEXOS

Anexo 1

	FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO
---	---

TITULO:

PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION		LUGAR DE PUBLICACION		

TIPO DE INVESTIGACION:	AUTOR (ES):
-------------------------------	------------------------

CODIGO :	
PALABRAS CLAVES :	
PLANTA BIOACUMULADORA :	
METAL A REMEDIAR :	
CONDICIONES DE CRECIMIENTO :	
DETERMINACIÓN DEL METAL CONTAMINANTE:	
RESULTADOS :	
CONCLUSIONES:	